

Identifikasi Dan Analisis Risiko Kebakaran Dan Ledakan Menggunakan Metode Hazard and Operability Study (HAZOP) Pada Stasiun Pengumpul Minyak Perusahaan Hulu Migas

Rama Indra Jaya*, I Putu Artama Wiguna

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: ramaindraya@gmail.com*, artama@its.ac.id

Keywords:

Hazard and Operability Study (HAZOP); fire and explosion risk; hazard identification; oil gathering station; process safety.

Abstract

The Mangun Jaya Gathering Station (SP) is an upstream oil and gas production facility operated by PT XYZ that handles large quantities of flammable hydrocarbons and operates numerous pressurized equipment, resulting in a high potential for fire and explosion hazards. This study aims to identify and analyze fire and explosion risks arising from operational failures at the facility using the Hazard and Operability Study (HAZOP) method. The study was conducted through Focus Group Discussions (FGD) involving a multidisciplinary team from operations, maintenance, process safety, and HSSE functions, reviewing 19 process nodes based on Piping and Instrumentation Diagrams (P&ID) using guide words (No, More, Less, Reverse, and Other Than) applied to pressure, temperature, flow, and level parameters. The HAZOP study produced 104 recommendations, consisting of 13 Category V (catastrophic), 15 Category IV (significant), 52 Category III (moderate) recommendations, and 24 non-category recommendations related to P&ID documentation corrections. Eleven scenarios were identified as falling into the unacceptable risk category, with catastrophic consequence severity ($S = 5$) and likelihood ($L = 3$), all related to hydrocarbon loss-of-containment scenarios at the Sand Filter, 3-Phase Production Separator, Test Separator, Scrubber, Wash Tank, Production Tank, and Test Tank, triggered by high pressure, high level, venting system failure, and corrosion/erosion. This study concludes that strengthening equipment integrity and the reliability of process safety protection systems should be the primary risk control priorities at the SP Mangun Jaya facility.

Kata Kunci:

Hazard and Operability Study (HAZOP); identifikasi bahaya; keselamatan proses; risiko kebakaran dan ledakan; stasiun pengumpul minyak.

Abstrak

Stasiun Pengumpul (SP) Mangun Jaya merupakan fasilitas produksi hulu migas milik PT XYZ yang menangani hidrokarbon mudah terbakar dalam jumlah besar serta mengoperasikan sejumlah peralatan bertekanan, sehingga memiliki potensi bahaya kebakaran dan ledakan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis risiko kebakaran dan ledakan akibat kegagalan operasional pada fasilitas tersebut menggunakan metode Hazard and Operability Study (HAZOP). Studi dilaksanakan melalui Focus

Group Discussion (FGD) yang melibatkan tim multidisiplin dari fungsi operasi, perawatan, keselamatan proses, dan HSSE, dengan meninjau 19 node proses berdasarkan Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) menggunakan kata panduan (guide words) No, More, Less, Reverse, dan Other Than pada parameter tekanan, temperatur, aliran, dan level. Studi HAZOP menghasilkan 104 rekomendasi perbaikan, terdiri atas 13 rekomendasi kategori V (catastrophic), 15 kategori IV (significant), 52 kategori III (moderate), dan 24 rekomendasi non-kategori berupa koreksi dokumen P&ID. Sebelas skenario teridentifikasi berada pada kategori risiko unacceptable dengan tingkat konsekuensi catastrophic (severity = 5) dan likelihood = 3, seluruhnya berkaitan dengan skenario kehilangan containment hidrokarbon pada Sand Filter, 3-Phase Production Separator, Test Separator, Scrubber, Wash Tank, Production Tank, dan Test Tank akibat tekanan tinggi, level tinggi, kegagalan sistem venting, serta korosi/erosi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penguatan integritas peralatan dan keandalan sistem proteksi proses merupakan prioritas utama dalam pengendalian risiko kebakaran dan ledakan pada fasilitas SP Mangun Jaya.

PENDAHULUAN

Fasilitas Stasiun Pengumpul Minyak memiliki potensi bahaya tinggi karena menangani hidrokarbon mudah terbakar dalam jumlah besar serta mengoperasikan berbagai peralatan bertekanan yang berpotensi menimbulkan kebakaran dan ledakan. Kompleksitas proses, besarnya inventori hidrokarbon, serta potensi dampak terhadap pekerja, aset, lingkungan, dan masyarakat sekitar menjadikan pengelolaan risiko pada fasilitas ini sangat penting. Data International Association of Oil & Gas Producers (IOGP, 2025) menunjukkan bahwa jumlah Process Safety Event (PSE) kategori Tier 1 dan Tier 2 secara global masih berfluktuasi pada level yang tergolong tinggi dalam sepuluh tahun terakhir, sementara data internal PT Pertamina Hulu Energi (2025) mencatat 4 kejadian Tier 1 dan 10 kejadian Tier 2 pada usaha hulu migas di Indonesia sepanjang tahun 2025. Pola ini menunjukkan bahwa meskipun penerapan Process Safety Management (PSM) telah diperkuat, masih terdapat celah dalam pengendalian risiko, khususnya terkait kehilangan containment (loss of primary containment) dan efektivitas lapisan proteksi.

SP Mangun Jaya merupakan salah satu fasilitas produksi PT XYZ yang berfungsi mengumpulkan, memisahkan, dan menangani fluida produksi dari sejumlah sumur sebelum dialirkan ke fasilitas berikutnya. Sistem proteksi kebakaran yang tersedia pada fasilitas ini masih terbatas dan sebagian peralatan keselamatan telah mengalami penurunan efisiensi akibat usia pakai tanpa program pembaruan menyeluruh. Kondisi tersebut diperberat oleh faktor eksternal berupa jarak permukiman warga yang hanya sekitar 30 meter dari fasilitas, jauh lebih dekat dibandingkan buffer zone yang direkomendasikan untuk fasilitas migas, sehingga potensi dampak kebakaran atau ledakan terhadap masyarakat sekitar menjadi signifikan.

Hazard and Operability Study (HAZOP) merupakan metode sistematis untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan masalah keteroperasian pada suatu proses industri dengan memeriksa setiap bagian proses terhadap deviasi dari kondisi operasi yang dimaksudkan

(Kletz, 2009). Metode ini telah distandarisasi sejak tahun 1970-an sebagai teknik tinjauan proses yang sistematis untuk fasilitas kimia, petrokimia, dan minyak dan gas (CCPS, 2008), dengan cara memaksa tim multidisiplin berpikir hipotetik terhadap kemungkinan deviasi parameter proses menggunakan kata panduan (guide words) yang dipadukan dengan parameter proses seperti aliran, tekanan, temperatur, level, dan komposisi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa HAZOP tetap menjadi metode kualitatif yang paling banyak digunakan dalam identifikasi bahaya di industri proses karena efektivitasnya dalam mengungkap deviasi operasional (Yang, Khan, & Amyotte, 2016), meskipun sifatnya yang deskriptif membuatnya perlu dipadukan dengan metode kuantitatif lanjutan seperti Event Tree Analysis (ETA) atau Quantitative Risk Assessment (QRA) untuk memperoleh gambaran probabilitas dan konsekuensi yang lebih terukur (Bouasla, Zennir, & Mechhoud, 2020; Isarinia, Keshvari, & Karimi, 2020).

Studi kasus penerapan HAZOP pada fasilitas migas telah banyak dilakukan, di antaranya pada tank farm untuk mengidentifikasi skenario kehilangan primary containment (Saura, Dela Cruz, & Mendoza, 2015) dan pada sistem fuel gas di kilang minyak yang dipadukan dengan verifikasi Safety Integrity Level/SIL (Siswantoro, Hidayat, & Supriyanto, 2019). Namun, penerapan HAZOP secara spesifik pada fasilitas stasiun pengumpul minyak (oil gathering station) yang berlokasi berdekatan dengan permukiman padat penduduk, sebagaimana kondisi SP Mangun Jaya, masih relatif terbatas didokumentasikan dalam literatur, sehingga menjadi celah penelitian (research gap) yang mendasari penelitian ini.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi potensi deviasi proses dan skenario bahaya kebakaran dan ledakan pada fasilitas SP Mangun Jaya menggunakan metode HAZOP, dan (2) menganalisis tingkat risiko dari setiap skenario yang teridentifikasi untuk menentukan prioritas pengendalian dan mitigasi. Penelitian ini merupakan bagian dari kajian tesis penulis yang lebih luas dan secara khusus difokuskan pada tahap identifikasi bahaya menggunakan HAZOP sebagai fondasi bagi analisis risiko proses di fasilitas hulu migas.

METODE PENELITIAN

Objek dan Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian dilakukan pada SP Mangun Jaya, salah satu fasilitas produksi PT XYZ yang berlokasi di Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatra Selatan. Fasilitas ini menangani proses penerimaan fluida dari wellhead, pemisahan pasir pada sand filter, pemisahan tiga fasa (minyak, gas, dan air) pada production separator, pengujian sumur pada test separator, pemisahan lanjutan pada wash tank, hingga penyimpanan sementara pada production tank dan test tank sebelum minyak dikirim keluar fasilitas. Ruang lingkup analisis difokuskan pada peralatan kritis yang berpotensi menimbulkan kebakaran dan ledakan, meliputi separator, tangki penyimpanan, sistem perpipaan, serta sistem utilitas pendukung.

Pendekatan dan Data

Penelitian menggunakan desain deskriptif-kualitatif untuk menggambarkan potensi deviasi proses yang dapat menimbulkan bahaya kebakaran dan ledakan. Data primer diperoleh dari Piping and Instrumentation Diagram (P&ID), parameter operasi, data inventori bahan, data inspeksi dan perawatan peralatan, observasi lapangan, serta Focus Group Discussion (FGD)

yang melibatkan personel operasi, perawatan (maintenance), process safety, dan HSSE. Data sekunder diperoleh dari standar industri dan literatur terkait keselamatan proses.

Pelaksanaan Studi HAZOP

Studi HAZOP dilaksanakan melalui workshop/FGD terstruktur selama empat hari yang melibatkan 12 personel lintas fungsi dari disiplin operasi, perawatan, keselamatan proses, dan pihak fasilitator independen. Tim HAZOP terdiri atas fasilitator yang memimpin jalannya diskusi, scribe yang mendokumentasikan temuan pada worksheet HAZOP, serta anggota tim dari fungsi operasi lapangan (OSF), Reliability, Availability, and Maintainability (RAM), Production Operation (PO), dan Health, Safety, Security, and Environment (HSSE).

Proses HAZOP dilakukan dengan membagi sistem proses ke dalam node berdasarkan batas peralatan (equipment boundaries), perubahan kondisi operasi yang signifikan, serta keberadaan control valve, instrumen, alarm, dan interlock. Untuk setiap node, tim menyepakati batas node, tujuan operasi (design intent), parameter proses yang dianalisis, serta peralatan dan safeguard yang tersedia. Setiap node kemudian ditinjau secara sistematis menggunakan kata panduan (guide words) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, yang dipadukan dengan parameter proses seperti tekanan, temperatur, aliran, dan level, untuk mengidentifikasi penyebab (causes), konsekuensi (consequences), safeguard yang tersedia, serta rekomendasi perbaikan.

Tabel 1. Guide Word HAZOP yang Digunakan

Guide Word	Makna / Aplikasi
No	Tidak ada aliran/kondisi yang seharusnya ada (No Flow, No Pressure)
More	Melebihi nilai yang diinginkan (More Flow, More Pressure)
Less	Kurang dari nilai normal (Less Flow, Less Temperature)
Reverse	Arah berlawanan atau aliran balik (Reverse Flow)
As Well As / Part Of	Kehadiran zat atau aliran tambahan (Other Component Present)
Other Than	Kondisi berbeda dari yang diinginkan
Early / Late	Waktu operasi berbeda dari rencana (Early Start / Late Shutdown)

Sumber: diadaptasi dari Kletz (2009) dan CCPS (2008)

Penilaian Tingkat Risiko

Setiap deviasi/skenario bahaya yang teridentifikasi dinilai menggunakan matriks risiko 5×5 berdasarkan dua parameter, yaitu tingkat keparahan konsekuensi (severity, skala 1–5) dan tingkat kemungkinan kejadian (likelihood, skala 1–5). Penilaian severity dilakukan berdasarkan pertimbangan tim HAZOP dengan asumsi tanpa memperhitungkan efektivitas lapisan proteksi yang tersedia, sehingga menggambarkan potensi dampak maksimum. Penilaian likelihood mempertimbangkan frekuensi kejadian historis, kondisi aktual fasilitas, keandalan peralatan, efektivitas prosedur operasi, hasil inspeksi dan perawatan, serta potensi kesalahan manusia. Kombinasi kedua parameter menghasilkan tingkat risiko yang dikategorikan ke dalam lima peringkat (Kategori I hingga V) serta status penerimaan risiko (acceptable, ALARP, atau unacceptable), yang selanjutnya menjadi dasar penentuan prioritas rekomendasi mitigasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Node Proses HAZOP

Berdasarkan hasil FGD, sistem proses SP Mangun Jaya dibagi menjadi 19 node yang mencakup keseluruhan alur proses mulai dari flowline dan manifold hingga sistem firewater, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Node 8 tidak menghasilkan temuan bahaya berdasarkan kesepakatan tim pada saat FGD, namun nomor node tetap dipertahankan untuk menjaga keutuhan urutan dokumentasi.

Tabel 2. Daftar Node HAZOP SP Mangun Jaya

No. Node	Unit Proses / Peralatan
1	Flowline & Manifold
2	Sand Filter (MJY-V001)
3	3-Phase LP Production Separator (MJY-V-003)
4	2-Phase LP Test Separator (MJY-V004)
5	Scrubber (MJY-002)
6	Wash Tank (MJY-T002)
7	Sand Trap (MJY-V005)
8	— (tidak ada temuan bahaya, nomor tetap dipertahankan)
9	Production Tank (MJY-T-001/003)
10	Loading Pump (MJYP-009/003)
11	Test Tank (MJY-T007)
12	WIP Drain Pump (MJY-P-004)
13	Water Tank (MJY-T007)
14	Water Injection Pump (MJY-P-006/002)
15	Drain Box Pump (MJY-P-008)
16	Relief & Flare System (MJY-FS-001/002)
17	Utility Air System (MJY-CA-001/002)
18	Utility Water System (MJY-P-010A/B)

Perhitungan Risiko

Risiko Awal

DAMPAK		PROBABILITY (LIKELIHOOD)				
LEVEL	DESCRIPTION	1	2	3	4	5
5	Catastrophic	1	2	11		
4	Significant	11	14	8		
3	Moderate	14	18	37	3	
2	Minor		5	2	2	
1	Insignificant			2	3	

Gambar 1 Penentuan Risiko Awal

Berdasarkan hasil pemetaan pada matriks risiko, teridentifikasi sebanyak 133 risiko yang tersebar pada berbagai tingkat kemungkinan (*likelihood*) dan dampak (*consequence*). Distribusi tingkat risiko menunjukkan bahwa 71 risiko (53,4%) berada pada kategori medium, 35 risiko (26,3%) pada kategori low, 16 risiko (12,0%) pada kategori high, dan 11 risiko (8,3%) pada kategori extreme. Dominasi risiko pada kategori medium menunjukkan bahwa sebagian besar skenario bahaya telah memiliki pengendalian yang mampu menekan tingkat risiko hingga berada pada level yang masih dapat dikelola, namun belum sepenuhnya mencapai tingkat risiko rendah. Di sisi lain, masih terdapat 27 risiko (20,3%) yang berada pada kategori high dan extreme, sehingga memerlukan perhatian khusus karena berpotensi menimbulkan konsekuensi yang signifikan terhadap keselamatan pekerja, aset, lingkungan, maupun kontinuitas operasi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa efektivitas pengendalian yang telah diterapkan masih perlu ditingkatkan, terutama melalui penguatan pengendalian preventif untuk menurunkan kemungkinan terjadinya kegagalan proses serta pengendalian mitigatif untuk mengurangi dampak apabila skenario kecelakaan terjadi. Dengan penerapan pengendalian tersebut, diharapkan profil risiko dapat diturunkan hingga berada pada tingkat yang dapat diterima sesuai prinsip As Low As Reasonably Practicable (ALARP).

Rekapitulasi Mitigasi HAZOP

Studi HAZOP pada SP Mangun Jaya menghasilkan total 104 mitigasi agar dapat menurunkan nilai risiko. Rekapitulasi mitigasi berdasarkan kategori peringkat risiko disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Mitigasi HAZOP Berdasarkan Kategori Risiko

Kategori Peringkat Risiko	Jumlah Mitigasi
Kategori V (Catastrophic)	13
Kategori IV (Significant)	15
Kategori III (Moderate)	52
Kategori II (Minor)	0
Kategori I (Insignificant)	0
Non-Kategori (koreksi P&ID / konsekuensi produksi)	24

Sebanyak 13 mitigasi (12,5%) termasuk kategori V (catastrophic) dan 15 rekomendasi (14,4%) termasuk kategori IV (significant), yang keduanya memerlukan tindak lanjut prioritas tinggi. Sebanyak 52 mitigasi (50%) termasuk kategori III (moderate), sedangkan 24 mitigasi (23,1%) tergolong non-kategori yang umumnya berupa koreksi dokumen P&ID dan penanganan konsekuensi penurunan produksi, bukan risiko keselamatan proses secara langsung. Tidak ditemukan mitigasi pada kategori II (minor) maupun kategori I (insignificant), yang mengindikasikan bahwa deviasi proses pada fasilitas ini secara umum berpotensi menimbulkan konsekuensi yang cukup signifikan apabila tidak dikendalikan.

Risiko Akhir

DAMPAK		PROBABILITY (LIKELIHOOD)				
LEVEL	DESCRIPTION	1	2	3	4	5
5	Catastrophic	4				
4	Significant	26	18			
3	Moderate	46	22	5		
2	Minor		5	1	1	
1	Insignificant			2	3	

Gambar 2 Penentuan Risiko Akhir

Dari 133 skenario bahaya yang teridentifikasi dalam studi HAZOP, pola distribusi menunjukkan pergeseran risiko yang jelas setelah penerapan rekomendasi:

- Sebelum mitigasi, risiko terkonsentrasi di nilai menengah-tinggi — dominan pada nilai 9 (38 skenario, 28,6%), diikuti nilai 4 dan 6 (masing-masing 19 skenario). Nilai 12 dan 15 (kategori risiko tinggi–ekstrem) masih cukup signifikan, total 22 skenario (16,5%).
- Setelah mitigasi, distribusi bergeser tajam ke nilai rendah — mayoritas terkumpul di nilai 3 (48 skenario, 36,1%) dan 4 (34 skenario, 27,1%), sehingga bersama-sama mencakup 63,2% dari seluruh skenario. Nilai risiko tinggi (12 dan 15) hilang sepenuhnya dari kolom residual, dan nilai 9 tersisa hanya 5 skenario (turun dari 37).

Skenario Risiko Tertinggi (Unacceptable)

Sebelas skenario bahaya teridentifikasi berada pada kategori risiko tertinggi (unacceptable) dengan nilai severity (S) sebesar 5 (catastrophic) dan likelihood (L) sebesar 3, sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Pemilihan nilai severity adalah nilai yang terbesar diantara dampak pada *People, Environment, Financial Impact, Reputation, Asset atau Public Notification*. Seluruh skenario tersebut berkaitan dengan pelepasan material hidrokarbon/mudah terbakar (hydrocarbon/flammable material release) yang dapat berkembang menjadi kebakaran atau ledakan apabila terjadi ignition.

Tabel 4. Skenario Risiko Kategori Unacceptable Hasil HAZOP

No	Peralatan	Skenario Kejadian	S	L	Level Risiko	Mitigasi	Tipe Pengendalian
1	Sand Filter (Sand Trap)	Pelepasan hidrokarbon akibat korosi/erosi internal	5	3	Catastrophic	Pengecekan <i>wall thickness</i> untuk mengetahui <i>latest</i> MAWP	Preventif
2	3-Phase LP Production Separator	Pelepasan hidrokarbon akibat high pressure	5	3	Catastrophic	-Pemasangan PSH dan PAH pada <i>Production Separator</i> -Mengkaji upgrading system fire & gas detector di SP Mangun Jaya	Preventif
3	2-Phase LP Test Separator	Pelepasan hidrokarbon akibat high level	5	3	Catastrophic	-Reaktivasi existing LSH-V-004 -Pemasangan LAH untuk LSH-V-004	Preventif
4	Scrubber	Pelepasan hidrokarbon akibat high pressure	5	3	Catastrophic	-Pemasangan PSH dan PAH pada Test Separator -Mengkaji upgrading system fire & gas detector di SP Mangun Jaya	Preventif
5	Wash Tank	Pelepasan hidrokarbon akibat high pressure	5	3	Catastrophic	-Mengkaji kecukupan existing Open Vent 6" di Wash Tank terhadap skenario gas blow-by -Mengkaji dispersi HC gas dari skenario gas blow-by di Wash Tank	Preventif
6	Production Tank	Pelepasan hidrokarbon akibat low pressure (malfunction breather valve)	5	3	Catastrophic	Mengkaji penambahan PAL pada Production Tank untuk memperingatkan operator saat terjadi kenaikan ataupun penurunan tekanan di Production Tank yang	Preventif

						melebihi setting Breather Valve	
7	Production Tank	Pelepasan hidrokarbon akibat low pressure (flame arrestor buntu)	5	3	Catastrophic	Menerapkan PM Program untuk Flame Arrestor	Preventif
8	Production Tank	Pelepasan hidrokarbon akibat high pressure (malfunction breather valve)	5	3	Catastrophic	Mengkaji penambahan PAH pada Production Tank untuk memperingatkan operator saat terjadi kenaikan ataupun penurunan tekanan di Production Tank yang melebihi setting Breather Valve	Preventif
9	Production Tank	Pelepasan hidrokarbon akibat high pressure (flame arrestor buntu)	5	3	Catastrophic	Menerapkan PM Program untuk Flame Arrestor	Preventif
10	Test Tank	Pelepasan hidrokarbon akibat high pressure (partially open LIC-V-004)	5	3	Catastrophic	-Mengkaji kecukupan existing Gas boot di inlet Test Tank terhadap skenario gas blow-by -Mengkaji dispersi HC gas dari skenario gas blow-by di Test Tank -Mengkaji upgrading system fire & gas detector di SP Mangun Jaya	Preventif
11	Test Tank	Pelepasan hidrokarbon akibat high pressure (flame arrestor buntu)	5	3	Catastrophic	-Memastikan fungsi Flame Arrestor pada alat yang terpasang di venting Test Tank -Menerapkan PM Program untuk Flame Arrestor	Preventif

Skenario risiko tertinggi didominasi oleh potensi kehilangan containment hidrokarbon pada peralatan proses utama, yaitu Sand Filter, 3-Phase LP Production Separator, 2-Phase LP Test Separator, Scrubber, Wash Tank, Production Tank, dan Test Tank. Pada Sand Filter (Sand Trap), risiko utama berasal dari internal corrosion dan erosi akibat kandungan pasir (produced sand) dalam fluida produksi yang menyebabkan penipisan dinding peralatan secara bertahap. Risiko ini tergolong kritis karena kegagalan integritas mekanik seringkali sulit terdeteksi tanpa dukungan inspeksi ketebalan (wall thickness monitoring) dan pengendalian korosi yang memadai.

Pada 3-Phase LP Production Separator, 2-Phase LP Test Separator, dan Scrubber, risiko terbesar didominasi kondisi high pressure maupun high level yang berpotensi menyebabkan overpressure dan pelepasan hidrokarbon. Temuan ini menunjukkan bahwa keandalan sistem kontrol tekanan dan level, Pressure Safety Valve (PSV), alarm, serta Emergency Shutdown System (ESD) merupakan lapisan proteksi kritis pada peralatan tersebut. Kegagalan instrumentasi, malfunction control valve, maupun keterlambatan respons operator berpotensi menyebabkan tekanan melampaui batas desain peralatan.

Sementara itu, pada Production Tank dan Test Tank, sebagian besar risiko berkaitan dengan kegagalan sistem venting, khususnya malfunction pada breather valve dan flame arrestor yang tersumbat. Sistem pernapasan tangki (tank breathing system) memiliki peran kritikal dalam menjaga keseimbangan tekanan internal tangki; apabila breather valve gagal berfungsi atau flame arrestor tersumbat, tekanan maupun vakum di dalam tangki dapat meningkat secara signifikan sehingga berisiko menimbulkan kerusakan struktural atau kehilangan containment.

Klasifikasi dan Pola Rekomendasi Mitigasi

Seratus empat rekomendasi hasil studi HAZOP dapat dikelompokkan ke dalam enam kategori utama, yaitu (1) penguatan sistem proteksi proses, (2) peningkatan integritas peralatan, (3) revisi dokumen teknik dan prosedur operasi, (4) peningkatan sistem instrumentasi dan alarm, (5) penguatan sistem keselamatan kebakaran, dan (6) evaluasi desain fasilitas serta akses kerja personel. Pengelompokan ini memperlihatkan bahwa temuan HAZOP tidak berhenti pada identifikasi bahaya semata, tetapi diterjemahkan menjadi rencana tindak lanjut yang menyentuh aspek engineering, administratif, maupun keselamatan kerja secara menyeluruh.

Pada aspek sistem proteksi proses, rekomendasi banyak berupa pemasangan atau reaktivasi instrumentasi keselamatan seperti Level Alarm High/Low (LAH/LAL), Pressure Alarm High/Low (PAH/PAL), serta Pressure Switch High/Low (PSH/PSL) pada 3-Phase LP Production Separator, 2-Phase LP Test Separator, Scrubber, Production Tank, dan Water Tank. Sebagai ilustrasi, pada 3-Phase LP Production Separator direkomendasikan pemasangan PSL dan PAL untuk mendeteksi kondisi tekanan rendah (Rec. No. 21), sedangkan pada 2-Phase LP Test Separator direkomendasikan pemasangan PSH dan PAH untuk mendeteksi tekanan berlebih (Rec. No. 30). Pola serupa juga ditemukan pada Scrubber, di mana reaktivasi LSH-V-003 dan pemasangan LAH menjadi prioritas untuk mengantisipasi kondisi high level yang berpotensi memicu carry-over cairan ke sistem flare (Rec. No. 19–20).

Pada aspek integritas peralatan, rekomendasi difokuskan pada pengendalian korosi dan erosi, antara lain pemasangan cathodic protection pada trunkline serta pengkajian metode inspeksi wall thickness untuk memperoleh profil Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) terkini pada Sand Filter dan trunkline (Rec. No. 4–5 dan No. 13, 15). Kelompok rekomendasi ini konsisten dengan hasil identifikasi risiko tertinggi pada Sub-bagian 3.3, yang menunjukkan bahwa Sand Filter memiliki risiko dominan akibat internal corrosion dan erosion.

Pada Production Tank dan Test Tank, rekomendasi banyak menyasar sistem pernapasan tangki (tank breathing system), meliputi penambahan Pressure Alarm Low/High (PAL/PAH) untuk mendeteksi penyimpangan tekanan akibat malfunction breather valve (Rec. No. 46), penerapan program preventive maintenance (PM) khusus untuk flame arrestor (Rec.

No. 47), serta pengkajian kecukupan kapasitas open vent dan gas boot terhadap skenario gas blow-by pada Wash Tank dan Test Tank (Rec. No. 43–44, 58–59). Temuan ini memperkuat kesimpulan pada Sub-bagian 3.3 bahwa kegagalan sistem venting merupakan salah satu pemicu utama risiko unacceptable pada fasilitas tangki penyimpanan.

Pada sistem flare dan firewater (Node 16 dan 19), rekomendasi mencakup pengkajian dispersi gas hidrokarbon dari Flare Stack MJY-FS-001 dan MJY-FS-002 terhadap skenario relief dari overpressure separator (Rec. No. 80, 84), penerapan inspeksi berkala sebagai bagian dari pemenuhan Certificate of Inspection/COI (Rec. No. 83), pengujian performa firewater pump dan pengkajian pemasangan spare pump (Rec. No. 92–93), serta evaluasi efektivitas foam system dan kecukupan stok foam untuk mendukung firefighting (Rec. No. 95, 99, 102). Rekomendasi ini menunjukkan bahwa selain pencegahan (prevention) pada sumber bahaya, penguatan lapisan mitigasi (mitigation) berupa kesiapan sistem pemadaman turut menjadi perhatian penting dalam studi HAZOP ini.

Secara garis besar, rekomendasi tersebut dapat dibedakan menjadi dua sifat tindakan, yaitu preventive — seperti pemasangan alarm, inspeksi ketebalan pipa, revisi SOP, pemasangan fire and gas detector, preventive maintenance, pemasangan check valve, dan cathodic protection — yang bertujuan mencegah terjadinya deviasi atau kehilangan containment; serta mitigative — seperti penguatan firewater system, flare system, bundwall/secondary containment, foam system, analisis dispersi, dan kesiapsiagaan tanggap darurat — yang bertujuan membatasi dampak apabila insiden telah terjadi. Proporsi rekomendasi preventive yang jauh lebih dominan dibandingkan mitigative menunjukkan bahwa strategi pengendalian risiko pada SP Mangun Jaya lebih mengutamakan pendekatan pencegahan di sumber bahaya (source-level control), sejalan dengan hierarki pengendalian risiko yang menempatkan pencegahan di atas mitigasi dampak.

Efektivitas Penurunan Tingkat Risiko

Untuk menilai efektivitas rekomendasi yang dihasilkan, dilakukan tabulasi terhadap 74 dari 80 rekomendasi berkategori (Kategori III–V) yang memiliki nilai risiko awal dan risiko sisa (residual risk) yang terdokumentasi secara eksplisit dalam worksheet HAZOP. Rekomendasi non-kategori (24 rekomendasi berupa koreksi dokumen P&ID) tidak disertakan karena tidak memiliki nilai risiko numerik. Hasil tabulasi menunjukkan bahwa rata-rata nilai risiko awal pada sampel tersebut adalah 10,3, sedangkan rata-rata nilai risiko sisa setelah rekomendasi diterapkan adalah 4,5, atau setara dengan penurunan risiko rata-rata sebesar 56,3%.

Penurunan risiko terbesar (dari nilai 15 menjadi 4–5, atau sekitar 67–73%) umumnya diperoleh dari rekomendasi yang bersifat engineering control langsung terhadap parameter penyebab utama, seperti pemasangan PSH/PAH pada Test Separator (Rec. No. 30) serta reaktivasi dan penambahan alarm level tinggi pada Scrubber (Rec. No. 27–28). Sebaliknya, rekomendasi yang bersifat administratif atau memerlukan kajian lanjutan — misalnya pengkajian penambahan sumur gas untuk memitigasi kekurangan fuel gas (Rec. No. 32–33) atau penerapan inspeksi berkala sebagai bagian pemenuhan COI pada flare (Rec. No. 83) — cenderung memberikan penurunan risiko yang lebih moderat (dari nilai 12 menjadi 8–9, atau

sekitar 25–33%), karena efektivitasnya sangat bergantung pada konsistensi implementasi program dan tidak secara langsung mengeliminasi penyebab teknis deviasi.

Pola ini mengindikasikan bahwa rekomendasi berbasis instrumentasi dan sistem proteksi otomatis (independent protection layer) memberikan kontribusi penurunan risiko yang lebih signifikan dan lebih cepat terverifikasi dibandingkan rekomendasi administratif atau prosedural. Temuan ini konsisten dengan prinsip hierarki pengendalian risiko dalam CCPS (2010), yang menempatkan lapisan proteksi rekayasa (engineered safeguards) sebagai pengendalian yang lebih andal dibandingkan pengendalian administratif, karena tidak sepenuhnya bergantung pada kinerja manusia.

Perbandingan dengan Temuan Penelitian Terdahulu

Temuan bahwa risiko kebakaran dan ledakan pada SP Mangun Jaya didominasi oleh skenario kehilangan containment hidrokarbon pada peralatan pemisahan dan penyimpanan sejalan dengan hasil survei historis Khan dan Abbasi (2001) yang menunjukkan bahwa mayoritas insiden kebakaran dan ledakan pada kilang minyak serta depot penyimpanan disebabkan oleh kegagalan mekanik dan kesalahan operasional pada peralatan proses utama, bukan semata-mata oleh faktor eksternal. Demikian pula, dominasi risiko pada peralatan bertekanan seperti separator dan scrubber memperkuat argumen Kumamoto dan Henley (1996) bahwa identifikasi deviasi melalui HAZOP merupakan fondasi penting sebelum dilakukan perhitungan probabilitas kuantitatif menggunakan pendekatan Probabilistic Risk Assessment (PRA).

Risiko dominan pada Production Tank dan Wash Tank akibat kegagalan sistem venting juga sejalan dengan studi kasus HAZOP pada tank farm oleh Saura, Dela Cruz, dan Mendoza (2015), yang menunjukkan bahwa deviasi tekanan pada sistem tangki penyimpanan kerap menjadi penyebab dominan skenario loss of primary containment. Selain itu, kedekatan fasilitas SP Mangun Jaya dengan permukiman penduduk memperbesar relevansi konsep domino effect yang dikaji Habibi Jazin, Mousavi, dan Zarei (2019), di mana kegagalan pada satu unit penyimpanan berpotensi memicu eskalasi kejadian pada unit di sekitarnya apabila jarak aman (buffer zone) tidak memadai. Sejalan dengan prinsip As Low As Reasonably Practicable (ALARP) yang dikemukakan Mannan (2012), seluruh skenario kategori unacceptable pada penelitian ini memerlukan tindakan mitigasi tambahan agar tingkat risiko dapat diturunkan menuju zona yang dapat diterima, sebagaimana ditunjukkan oleh capaian penurunan risiko rata-rata 56,3% pada Sub-bagian 3.5. Namun demikian, sifat HAZOP yang kualitatif membuat metode ini tidak secara langsung menghasilkan estimasi frekuensi maupun besaran konsekuensi fisik, sehingga temuan Ericson (2015) dan Bouasla, Zennir, dan Mechhoud (2020) mengenai perlunya integrasi HAZOP dengan Event Tree Analysis (ETA) atau pemodelan konsekuensi seperti PHAST tetap relevan sebagai tindak lanjut analitis atas hasil identifikasi bahaya dalam penelitian ini.

Keterbatasan Penelitian

Beberapa keterbatasan perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil penelitian ini. Pertama, penilaian severity dan likelihood pada studi HAZOP bersifat kualitatif dan sangat bergantung pada pertimbangan (judgement) tim multidisiplin yang terlibat dalam FGD,

sehingga berpotensi mengandung unsur subjektivitas meskipun telah mengacu pada matriks risiko baku perusahaan. Kedua, penelitian ini merupakan studi kasus tunggal (single case study) pada satu fasilitas stasiun pengumpul minyak, sehingga generalisasi temuan terhadap fasilitas migas lain dengan karakteristik proses maupun tata letak yang berbeda perlu dilakukan secara hati-hati. Ketiga, karena HAZOP bersifat kualitatif, penelitian ini belum memberikan estimasi frekuensi kejadian maupun besaran konsekuensi fisik (radius thermal radiation, overpressure, dan dispersi gas) secara kuantitatif, sehingga hasil identifikasi risiko unacceptable pada Sub-bagian 3.3 perlu ditindaklanjuti dengan analisis kuantitatif seperti ETA dan PHAST untuk memperoleh gambaran risiko yang lebih komprehensif dan terukur.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Studi HAZOP pada fasilitas SP Mangun Jaya PT XYZ berhasil mengidentifikasi 19 node proses dan menghasilkan 104 rekomendasi perbaikan, terdiri atas 13 rekomendasi kategori V, 15 kategori IV, 52 kategori III, dan 24 rekomendasi non-kategori. Sebelas skenario bahaya teridentifikasi berada pada kategori risiko unacceptable dengan tingkat konsekuensi catastrophic, seluruhnya berkaitan dengan skenario kehilangan containment hidrokarbon pada Sand Filter, Separator, Scrubber, Wash Tank, Production Tank, dan Test Tank akibat tekanan tinggi, level tinggi, kegagalan sistem venting, serta korosi/erosi. Temuan ini menegaskan bahwa penguatan integritas peralatan (asset integrity management) dan peningkatan keandalan sistem proteksi proses merupakan langkah prioritas dalam pengendalian risiko kebakaran dan ledakan pada fasilitas stasiun pengumpul minyak. Hasil identifikasi HAZOP ini juga dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang mengintegrasikan analisis kuantitatif probabilitas dan konsekuensi untuk memperoleh gambaran risiko yang lebih komprehensif.

Saran Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan hasil dan keterbatasan penelitian ini, beberapa saran diajukan bagi penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Analisis kuantitatif lanjutan. Sebelas skenario unacceptable serta rekomendasi kategori IV dan V yang dihasilkan dalam penelitian ini disarankan menjadi initiating event bagi penelitian lanjutan yang menggunakan Event Tree Analysis (ETA) untuk mengestimasi frekuensi kejadian, serta pemodelan konsekuensi (misalnya menggunakan perangkat lunak PHAST) untuk menghitung radius thermal radiation, overpressure, dan dispersi gas secara terukur, sehingga tingkat risiko dapat dinyatakan secara kuantitatif dan dibandingkan dengan kriteria risiko yang berlaku.
2. Validasi lintas fasilitas. Mengingat penelitian ini merupakan studi kasus tunggal, penelitian selanjutnya disarankan menerapkan metodologi serupa pada beberapa stasiun pengumpul minyak lain dengan karakteristik proses, usia fasilitas, dan tata letak berbeda untuk menguji sejauh mana pola risiko dan efektivitas rekomendasi yang ditemukan bersifat konsisten atau spesifik terhadap konteks lokal, sehingga meningkatkan generalisasi temuan.
3. Kajian facility siting dan risiko terhadap masyarakat sekitar. Mengingat jarak fasilitas terhadap permukiman penduduk yang lebih dekat dari buffer zone yang direkomendasikan, penelitian selanjutnya disarankan melakukan kajian facility siting dan Quantitative Risk

Assessment (QRA) berbasis societal risk untuk menilai potensi dampak domino effect terhadap masyarakat sekitar, sejalan dengan kerangka yang dikembangkan Habibi Jazin, Mousavi, dan Zarei (2019).

4. Integrasi faktor manusia (human factors). Karena sebagian besar safeguard eksisting pada fasilitas ini masih bergantung pada respons operator, penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan analisis human reliability assessment (HRA) ke dalam kerangka HAZOP untuk mengevaluasi kontribusi kesalahan manusia terhadap probabilitas kegagalan lapisan proteksi, khususnya pada skenario yang bergantung pada deteksi dan respons manual.
5. Digitalisasi dan pemanfaatan teknologi analitik. Penelitian selanjutnya juga dapat mengeksplorasi pemanfaatan perangkat lunak HAZOP terkomputerisasi maupun pendekatan analitik berbasis data (misalnya text mining terhadap riwayat Process Safety Event) untuk mempercepat proses identifikasi bahaya, meningkatkan konsistensi penilaian risiko antar-sesi FGD, serta mendukung pemantauan tindak lanjut rekomendasi secara real-time.

REFERENSI

- Bouasla, A., Zennir, A., & Mechhoud, A. (2020). Risk analysis using HAZOP–fault tree–event tree methodology. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 66, 104211.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2008). Guidelines for hazard evaluation procedures. American Institute of Chemical Engineers.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2010). Guidelines for initiating events and independent protection layers. American Institute of Chemical Engineers.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2011). Guidelines for risk based process safety. American Institute of Chemical Engineers/Wiley.
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas. (2023). Kejadian kecelakaan pada kegiatan hulu migas Indonesia. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM).
- Ericson, C. A. (2015). Hazard analysis techniques for system safety. Wiley.
- Habibi Jazin, A., Mousavi, S., & Zarei, S. (2019). Quantitative risk assessment of domino effect in fuel storage tank farm. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 59, 99–110.
- International Association of Oil & Gas Producers (IOGP). (2025). Safety performance indicators – Process safety events – 2024 data. IOGP.
- Isarinia, M., Keshvari, R., & Karimi, N. (2020). PHAST modeling and HAZOP risk assessment for NTO tank in bipropellant stand. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 67, 104216.
- Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (2001). Explosion and fire incidents in petroleum refineries and oil storage depots: A historical survey. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 14(6), 493–506.
- Kletz, T. A. (2009). What went wrong? Case histories of process plant disasters and how they could have been avoided. Gulf Professional Publishing.

- Kumamoto, H., & Henley, E. J. (1996). Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists (2nd ed.). IEEE Press.
- Mannan, S. (2012). Lees' loss prevention in the process industries. Butterworth-Heinemann.
- Pertamina Hulu Energi. (2025). Dashboard process safety event Tier 1, Tier 2, dan Tier 3.
- Saura, G., Dela Cruz, M. A., & Mendoza, F. (2015). Case studies on the application of HAZOP methodology for loss of primary containment in tank farms. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 35, 90–97.
- Siswantoro, T., Hidayat, R., & Supriyanto, I. (2019). HAZOP study and SIL verification of fuel gas system in oil refinery. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 61, 1–9.
- Yang, M., Khan, F., & Amyotte, P. (2016). Operational risk assessment in chemical process industries: A literature review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 41, 41–55.